

QA
802
.J65
STORAGE
B 448778
Johannesson Paul.

Wissenschaftliche Beilage zum Jahresbericht des Sophien-Realgymnasiums in Berlin. Ostern 1896.

Das Beharrungsgesetz.

Von

Paul Johannesson.

BERLIN 1896.
R. Gaertners Verlagsbuchhandlung
Hermann Heyfelder.

1896. Programm Nr. 98.

Inhalt:

1. Die vorliegende Betrachtung ist nicht aus bloſser Neugier, sondern aus den *Verlegenheiten* entstanden, in welche das Lehren der mechanischen Grundbegriffe mich versetzt hat. Zu Anfang lehrte ich überzeugt, was ich gelernt hatte; dann kam ich zurück von meiner Selbstgewiſsheit, irre gemacht durch eigene Zweifel, nicht selten beschämt durch Schülerfragen, auf welche mir die Antwort fehlte. Als Trost empfand ich, daſs andere gleich mir zu klagen hatten, daſs gar erlauchte Geister eine Nachprüfung der mechanischen Voraussetzungen für nötig hielten. Zudem wurde ich mächtig angeregt durch Eugen Dührings Geschichte der Mechanik[1]). Die dort gegebenen Fingerzeige nährten in erster Linie meinen Glauben, daſs eine klare Einsicht in den Geltungsbereich und die Entstehungsweise der mechanischen Grundwahrheiten sich muſs gewinnen lassen. Doch haben ohne Frage noch manche andern Reize, zum Teil mir unbewuſst, Einfluſs auf mich gehabt und so Gedankenreihen in mir ausgelöst, die hier Erwähnung finden sollen.

2. Nachfolgend wird nur der eine Hauptsatz der Mechanik erwogen werden, den man gemeinhin an ihre Spitze stellt. Es handelt sich um eine Zerpflückung des Beharrungsgesetzes in seine gedanklichen Bestandteile, um die Frage, ob letztere sich irrtumsfrei zu einem Satz vereinigen lassen, um die Quelle, aus welcher die etwaigen Irrtümer geflossen sind, um den Wert, den gleichwohl die Beharrungsregel hatte, und schlieſslich um den Versuch, ihr eine Form zu geben, die in sich aufzunehmen dem Geist zwanglos gelingt. — Die Lösung unserer *Aufgabe* ist oft versucht worden. Schon im vorigen Jahrhundert hat man sich gegen die Überlieferung gesträubt. Auch gegenwärtig ist in Deutschland und zuletzt in England vielfach am Beharrungssatz gemäkelt und geflickt worden. So werden wir uns häufig auf fremde Meinungen berufen dürfen, ja überhaupt nur weniges bemerken können, was nicht schon andern eingefallen ist. Ob freilich dieses wenige geeignet ist, den Leser anzuregen, kann nur er selbst beurteilen.

I. Die Form des Beharrungsgesetzes.

3. Das Beharrungsgesetz wird durch die Lehrbücher der Physik in einer Form verbreitet, welche *Newtons* Mechanik[2]) entnommen ist. Dort findet sich der *Beharrungsgedanke in zwei Fassungen*, einmal als Erklärung, das andere Mal als Bewegungsgrundsatz. Die Erklärung ist eine solche des Stoffes und lautet (S. 21): „Die Materie besitzt das Vermögen zu widerstehen; deshalb verharrt jeder Körper, soweit es an ihm ist, in einem Zustande der Ruhe oder der gleichförmigen

[1]) E. Dühring, Kritische Geschichte der allgemeinen Principien der Mechanik. 2. Auflage. Leipzig 1877.
[2]) Newtons mathematische Principien der Naturlehre. Deutsch herausgegeben von Wolfers. Berlin 1872.

geradlinigen Bewegung[1])." Das Bewegungsgesetz will eine Naturthatsache aussprechen mit den Worten (S. 32): „Jeder Körper beharrt in seinem Zustande der Ruhe oder der gleichförmigen geradlinigen Bewegung, wenn er nicht durch einwirkende Kräfte gezwungen wird, seinen Zustand zu ändern." An einer dritten Stelle (S. 380 f.), wo nämlich die Regeln zur Erforschung der Natur zusammengestellt sind, wird die Trägheit des Stoffes als eine Erfahrungserkenntnis und als eine den Körpern eigentümliche und unveränderliche Kraft bezeichnet, im Gegensatz zur Schwere, die mit der Entfernung von der Erde abnehme. Für ein lediglich mathematisches Lehrgebäude wäre die Erklärung des Stoffes als des mit Trägheitskraft begabten Seienden hinreichend gewesen; für die physikalischen Anwendungen fügt Newton die grundsätzliche Annahme hinzu, dafs die natürlichen Körper solche im Sinne der mathematischen Erklärung seien. Beide Gesichtspunkte, der mathematischen Erklärung und des physikalischen Grundsatzes, werden in den vorhandenen Darstellungen nicht streng von einander geschieden; es fragt sich, ob die Newtonsche Unterscheidung sachlich bedingt ist.

4. Über die Erkenntnisquelle der Mathematik soll hier nicht geurteilt werden, und doch ist die Antwort auf die beregte Frage nicht zweifelhaft. Mag nämlich der Inhalt der Mathematik aus Sinnesreizen entstanden oder durch reine Geistesthätigkeit geschaffen sein, auf alle Fälle gelten ihre Sätze nicht nur angenähert, sondern mit unbedingter Sicherheit. Aber eben deswegen entspricht den mathematischen Gedanken auch niemals völlig genau ein Gegenstand der Körperwelt. Gerade Linien und Ebenen sind in der Natur nicht vorhanden. Die unendliche Mannichfaltigkeit der natürlichen Erscheinungen wird in der Mathematik verneint. Den mathematischen Gebilden wird durch die Erklärung nur eine begrenzte Zahl von Eigenschaften und zwar allgemeingiltig beigelegt, und die so geforderte Einfachheit ist in den Dingen nie verwirklicht. Weil die Voraussetzungen der Mathematik in einem Versuche sich nicht genau erfüllen lassen, könnten die Versuchsergebnisse mit denen der Rechnung sich auch dann nicht völlig decken, wenn die Beobachtungsmittel vollkommen wären. Die *Mathematik* spricht ihre Wahrheiten in der Form aus, wenn eine Vorstellung diese Eigenschaften hat, so kommen ihr auch jene zu; dagegen kann die Aussage einer *Naturerkenntnis* nur lauten, wenn bei einem Versuch störende Einflüsse nicht stattfinden, so zeigen sich gewisse Erscheinungen. Daher sind ihrem eigentlichen Inhalt nach die mathematischen Voraussetzungen Bejahungen, die Versuchsbedingungen Verneinungen, wenn auch das Sprachgewand bisweilen anders aussieht. Da aber die verneinenden Versuchsbedingungen nie vollzählig sind, weil nämlich die Welt ein zusammenhängendes Ganzes ist und also endlos viele Einflüsse jeden Versuch stören, so können Naturgesetze nie völlig genau gelten. Doch wird die Annäherung an die Wahrheit um so vollkommener sein, je mehr Störungen von den Beobachtungen ausgeschlossen werden. Das Ziel der Wahrheit wäre erreicht, sobald die lückenlose Ausschliefsung der Störungen gelänge. Dann würden auch Naturgesetze genau giltig, was sonst nur mathematischen Aussagen zukommt.

5. Dieser Fall nun liegt bei *Newtons* Beharrungslehre vor. Zunächst unterscheiden sich seine *Erklärung* und sein *Naturgesetz* durch ihre bejahende und ihre verneinende Bedingung. Die bejahende der Erklärung heifst „soweit es an ihm ist", die verneinende des Naturgesetzes „wenn er nicht durch einwirkende Kräfte gezwungen wird, seinen Zustand zu ändern". Mit den „einwirkenden Kräften" sind jedoch alle nur möglichen Störungen ausgeschlossen, und so wird die

[1]) Selbstverständlich sind alle übersetzten Anführungen mit dem Urtext verglichen worden. Letzteren in den Anmerkungen zu wiederholen, verbot der Raummangel.

verneinende Bedingung mit dem „an sich" der Erklärung völlig übereinstimmend. Lediglich wegen dieser Übereinstimmung kann Newton auch für sein Naturgesetz in Anspruch nehmen, was sonst nur der mathematischen Erklärung zugekommen wäre, nämlich dafs es genau und nicht nur angenähert gilt. Danach ist es inhaltlich gleich, an welche Ausdrucksweise Newtons unsere Erörterung anknüpft; doch wird der Unterschied der Form wesentlich zu Gunsten der einen von beiden Fassungen sprechen.

6. Das *Grundgesetz* nämlich nimmt auf „einwirkende Kräfte" Bezug, für welche bei Newton (S. 22) die Erklärung heifst „eine angebrachte Kraft ist das gegen einen Körper ausgeübte Bestreben, seinen Zustand zu ändern, entweder den der Ruhe oder den der gleichförmigen geradlinigen Bewegung". Setzt man den Inhalt dieser Erklärung an die Stelle der „einwirkenden Kräfte", so gestaltet sich das Grundgesetz zu der Aussage: Der durch Geschwindigkeit und Richtung bestimmte Bewegungszustand aller Körper bleibt, wenn nichts da ist, was geeignet wäre ihn zu ändern, d. h. der Zustand bleibt, wenn er bleibt. In dieser *Form* betrachtet ist das Beharrungsgesetz *eine leere Selbstverständlichkeit*, und es gilt die Verwunderung darüber zu beseitigen, wie einem Newton diese so inhaltlose Aussage hat beifallen können.

7. Von seiner Verwunderung mufs zurückkommen, wer in die Gedankenwelt des Newtonschen Zeitalters sich zurückversetzt. Es war eine Zeit des Ringens, wo man die Hand ausstreckte nach dem Schleier der Wahrheit, wo man abwog, ob der Geist eine Natur oder die Natur ein Geistiges sei. Die Frage, ob Freiheit oder Notwendigkeit im Naturgeschehen walte, stand im Vordergrund der Forschung. Seit die Wissenschaft das aristotelische Gängelband abgelegt und den Mut gefunden hatte, auf den eigenen Füfsen zu stehen, mufste die Aufstellung so manches allgemeinen Satzes versucht werden, dessen Nichtigkeit erst späterhin ans Licht kam. Dahin gehörte auch der Newtonsche Beharrungssatz. Aber so völlig ohne Sinn waren jene Aufstellungen nicht. Sie haben alle zu ihrer Zeit ein seelisches Bedürfnis befriedigt und einen Glauben ausgedrückt, dem irgend welche Thaten folgten. Der Beharrungssatz *bedeutete für Newton* das Glaubensbekenntnis, dafs jede Veränderung ihre Ursache haben müsse; damit nahm er Partei in dem Streit um Freiheit und Notwendigkeit; und wenn auch die Leere dieses Bekenntnisses von Hume enthüllt wurde, als er die im Ursachenbegriff vorhandenen Nebel klärte, so ist es doch für Newton die Triebfeder gewesen, die ihn zur Entdeckung der allgemeinen Massenanziehung geleitet hat. Nicht also, dafs Newton in eine inhaltleere Rede hat verfallen können, bleibt verwunderlich, sondern dafs er darin eine so getreue Nachfolge bis heute gefunden hat, wo doch die Bedürfnisse verändert sind.

II. Der Inhalt des Beharrungsgesetzes.

A. Die Zerlegung des Satzes in seine Bestandteile.

8. Die Form des Grundgesetzes, die in den Lehrbüchern bevorzugt wird, hat sich als unbrauchbar erwiesen. So müssen wir zur andern Fassung Newtons unsere Zuflucht nehmen, wenn wir nun den *Inhalt des Beharrungssatzes* untersuchen. Die bejahende Bedingung desselben „soweit es an ihm ist" wird deutlicher, wenn sie durch die gleichwertige Verneinung ersetzt wird. Dann lautet das Gesetz: Unabhängig von anderen Massen bewegt sich jedes Massenteilchen geradlinig und gleichförmig. Die Ruhe ist hier als Grenzfall der Bewegung mit einbegriffen. *Drei Eigenschaften* legt der Satz der Bewegung des Massenteilchens bei: Erstens die Unabhängigkeit

geradlinigen Bewegung[1].“ Das Bewegungsgesetz will eine Naturthatsache aussprechen mit den Worten (S. 32): „Jeder Körper beharrt in seinem Zustande der Ruhe oder der gleichförmigen geradlinigen Bewegung, wenn er nicht durch einwirkende Kräfte gezwungen wird, seinen Zustand zu ändern.“ An einer dritten Stelle (S. 380f.), wo nämlich die Regeln zur Erforschung der Natur zusammengestellt sind, wird die Trägheit des Stoffes als eine Erfahrungserkenntnis und als eine den Körpern eigentümliche und unveränderliche Kraft bezeichnet, im Gegensatz zur Schwere, die mit der Entfernung von der Erde abnehme. Für ein lediglich mathematisches Lehrgebäude wäre die Erklärung des Stoffes als des mit Trägheitskraft begabten Seienden hinreichend gewesen; für die physikalischen Anwendungen fügt Newton die grundsätzliche Annahme hinzu, dafs die natürlichen Körper solche im Sinne der mathematischen Erklärung seien. Beide Gesichtspunkte, der mathematischen Erklärung und des physikalischen Grundsatzes, werden in den vorhandenen Darstellungen nicht streng von einander geschieden; es fragt sich, ob die Newtonsche Unterscheidung sachlich bedingt ist.

4. Über die Erkenntnisquelle der Mathematik soll hier nicht geurteilt werden, und doch ist die Antwort auf die beregte Frage nicht zweifelhaft. Mag nämlich der Inhalt der Mathematik aus Sinnesreizen entstanden oder durch reine Geistesthätigkeit geschaffen sein, auf alle Fälle gelten ihre Sätze nicht nur angenähert, sondern mit unbedingter Sicherheit. Aber eben deswegen entspricht den mathematischen Gedanken auch niemals völlig genau ein Gegenstand der Körperw[illegible] Gerade Linien und Ebenen sind in der Natur nicht vorhanden. Die unendliche Mannichfal[illegible] der natürlichen Erscheinungen wird in der Mathematik verneint. Den mathematischen [illegible] wird durch die Erklärung nur eine begrenzte Zahl von Eigenschaften und zwar allge[illegible] gelegt, und die so geforderte Einfachheit ist in den Dingen nie verwirklicht. [illegible] setzungen der Mathematik in einem Versuche sich nicht genau erfüllen lassen [illegible] suchsergebnisse mit denen der Rechnung sich auch dann nicht völlig [illegible] achtungsmittel vollkommen wären. Die *Mathematik* spricht ihre W[illegible] wenn eine Vorstellung diese Eigenschaften hat, so kommen ihr au[illegible] Aussage einer *Naturerkenntnis* nur lauten, wenn bei einem [illegible] stattfinden, so zeigen sich gewisse Erscheinungen. Daher si[illegible] mathematischen Voraussetzungen Bejahungen, die Versuch[illegible] das Sprachgewand bisweilen anders aussieht. Da ab[illegible] vollzählig sind, weil nämlich die Welt [illegible] zusamm[illegible] Einflüsse jeden Versuch stören, so [illegible] Annäherung an die Wahrheit um [illegible] ausgeschlossen werden. Das Z[illegible] der Störungen gelänge. Dan[illegible] Aussagen zukommt.

5. Dieser Fall [illegible] seine *Erklärung* und [illegible] bejahende der Erkl[illegible] er nicht durch ei[illegible] wirkenden Kräft[illegible]

---

[1] Selbst[illegible] in den Anmerkun[illegible]

verneinende Bedingung mit dem „an sich" der Erklärung
dieser Übereinstimmung kann Newton auch für sein
nur der mathematischen Erklärung zugekommen wäre.
genähert gilt. Danach ist es inhaltlich gleich,
örterung anknüpft; doch wird der Unterschied der
beiden Fassungen sprechen.

6. Das Grundgesetz nämlich nimmt auf
(S. 22); die Erklärung heifst „eine
streben, seinen Zustand zu ändern,
linigen Bewegung". Setzt man den Inhalt
Kräfte", so gestaltet sich das Grundgesetz zu
tung bestimmte Bewegungszustand aller
zu ändern, d. h. der Zustand bleibt,
gesetz *eine leere Selbstverständlichkeit*,
einem Newton diese so inhaltlose

7. Von seiner Verwunderung
schen Zeitalters sich zurückversetzt.
nach dem Schleier der Wahrheit,
sei. Die Frage, ob Freiheit oder
Forschung. Seit die Wissenschaft
hatte, auf den eigenen Füfsen
versucht werden, dessen
sche Beharrungssatz.
zu ihrer Zeit ein
Thaten folgten.
änderung ihre Ursache
wendigkeit; und
im Ursachenbegriff
die ihn zur
in eine
getreue

...inheit zu
dafs alles
...serer Zeit-
...n Neumann,
sie der gang-
...[1]) bezügliche
— nämlich des
...ste Mafs von Ge-
...so ist unerfindlich,
Die Gleichheit zweier
...en; und wer es je bei
...erungen im Wärme- und
der Befürchtung nicht ver-
... ein sechsundachtzigtausendstel
...äfsigen Annäherungen man zu
... Weber[2]). Nach alledem gilt uns
...barer Begriff wie ihre Geradlinigkeit,
...en vorhin anerkannten und umgeformten

Bewegung beharrenden Massenteilchens, seine
erwähnten Forschern nicht untersucht worden.
etwas Selbstverständliches. In uns hat gerade
ist nach meinem Dafürhalten ein völlig inhalt-
...hängigkeit dadurch verneint werden soll. Im
... Welt abhängig oder unabhängig von einander,
Aber die Forderung, irgend etwas schlechterdings
ist überhaupt nicht zu erfüllen; denn alles Denken ist
...nt, verzichtet damit auch auf jenes und folglich auf die
... Art der Unabhängigkeit man meint, und da zeigt sich, dafs
Bedeutung hat. Unabhängig von anderen Massen bedeutet ein-
... Mal ohne Kraftbeziehung. Letzteres soll zuerst erörtert werden.
Kraftbeziehung ist eine durchaus klare Vorstellung für jeden, wer
...mbar findet, wie wir die Geradlinigkeit und die Gleichförmigkeit in
... auch die Uhr oder die Längenteilung vor dem Kraftmesser voraus?
... das vollkommen zu — lediglich eine Voreingenommenheit für die letzt-
...genüber dem Kraftbegriff, wenn wir für diesen eine Aufklärung fordern, die
unnötig erachteten. Indessen folgen wir in diesem Vorurteil nicht nur dem
...nwart, sondern auch dem Beispiel berühmter Meister der Vergangenheit; die Kraft-

[1]) ...ach, die Geschichte und die Wurzel des Satzes von der Erhaltung der Arbeit. Prag 1872. S. 56. — ...hanik in ihrer Entwickelung historisch und kritisch dargestellt. 2. Aufl. Leipzig 1889. S. 208

[2]) ...ard Weber, Über das Galilei'sche Princip. Kiel 1891. S. 21 ff.

von anderen Massen, zweitens die Geradlinigkeit und drittens die Gleichförmigkeit. Alle drei Eigenschaften seien untrennbar mit einander verbunden und zwar dergestalt, dafs die erste die Bedingung der zweiten und dritten sei. Im Rahmen dieser *Dreiteilung* soll zunächst über die Beurteilung berichtet werden, welche das Beharrungsgesetz in Deutschland, nämlich durch Neumann, Mach, Streintz, Lange und Weber erfahren hat. Die englischen Arbeiten[1]) gehen meines Erachtens über die deutschen nicht soweit hinaus, dafs sie unsere Darstellung beeinflufst hätten.

9. Die genannten Forscher sind darin einig, dafs die Bahn einer Bewegung so lange völlig unbestimmt sei und daher nicht *geradlinig* genannt werden könne, als der Beobachtungsort nicht angegeben ist. In der That fällt für den Erdbewohner ein Stein etwa längs einer Geraden, vom Sternhimmel aus betrachtet hingegen in einer lang gestreckten Wurflinie. Seit diese Ansicht von C. Neumann[2]) ausgesprochen ist, hat sie als so blendend klar und darum überzeugend gegolten, dafs sie einer Prüfung nicht unterzogen wurde. Man meinte nur noch das Achsenkreuz suchen zu müssen, für welches die Beharrungsbewegung gerade sei.

10. Indessen ist dabei eine notwendige Unterscheidung unbeachtet gelassen. Es ist etwas wesentlich anderes, ob Neumann die Form der Bahn oder allgemeiner die Art der Bewegung ohne Bezugsort unbestimmt findet. Freilich giebt es keine Linien ohne Bewegung und keine Bewegung ohne Linien; aber den Begriff der Geraden anzweifeln, statt ihn als gegeben anzunehmen, heifst den Irrgängen derer folgen, welche das Merkmal der unbedingten Wahrheit suchten. Mit der Geraden wird die Raumlehre und zugleich alle Naturerkenntnis erschüttert und für den letzten Zweck dieser Betrachtung wird es gut sein, allzu heftige Erschütterungen zu vermeiden, solche nämlich, welche die gegenwärtige Grenze des menschlichen Wissens überschreiten und das Denken aus dem Zweifel zur Verzweiflung treiben. Wie verheerend geradezu der *Neumannsche Einwand* in seiner ursprünglichen Form wirken müfste, ist daraus ersichtlich, dafs er jedes Achsenkreuz unmöglich machen würde; denn es bliebe stets die Frage offen, in Bezug auf welchen Ort dasselbe geradlinig sein sollte. Auch Neumanns Ausflucht, einen aus starren Achsen gebildeten Körper Alpha dem Weltall einzuzeichnen, würde nicht helfen, da in der vorliegenden Verwendung starr nur ein anderes Wort für gerade ist und also demselben Zweifel unterliegen würde. Gleichwohl ist der Einwand zuzugeben, nur *in etwas unbestimmterer Form.* Die Gerade ist ja doch nichts anderes als ein Begriff, durch welchen die anschaulichen Bewegungen bestimmt werden, und die obersten Bestimmungen einer Wissenschaft sind auch nach Neumanns Zugeständnis (S. 12, S. 22 und S. 23) „unbegreiflich“ und „willkürlich“. Nur also um die Schwierigkeiten unerörtert lassen zu dürfen, welche im Begriff der Geraden liegen, sprechen wir Neumanns Einwendung einstweilen in der Form aus: Eine Bewegung ist so lange unbestimmt, als ihr Bezugsort nicht angegeben ist.

11. Damit ist zugleich erledigt, was gegen die Eigenschaft der *Gleichförmigkeit* geltend gemacht worden ist. Nach Neumann (S. 16—18) ist dieselbe unverständlich, bevor erklärt sei, was gleiche Zeiten sind. Sternkundige hätten gefunden, dafs die Umdrehungen des Erdkörpers sich verlangsamen und dafs infolgedessen „in jedem Jahrtausend der letzte Sterntag etwa um ein tausendtel Secunde gröfser ist als der erste“. Es hat gewifs sein Verdienstliches, die Ver-

[1]) Oliver Lodge, The foundations of Dynamics. — J. G. Mac Gregor, On the Hypotheses of Dynamics. — Beides in Philosophical Magazine 1893. (Die frühere Arbeit von Mac Gregor „On the fundamental hypotheses of abstract dynamics. Presidential address. Trans. Roy. Soc. Canada. 1893“ ist mir nicht zugänglich gewesen.)

[2]) C. Neumann, Über die Principien der Galilei-Newton'schen Theorie. Leipzig 1870. S. 14.

änderlichkeit unseres Zeitmafses festzustellen und danach, wenn möglich, eine andere Einheit zu vereinbaren, die geringeren Schwankungen unterliegt. Aber wer sich dabei bescheidet, dafs alles Naturwissen nur ein angenähertes ist, für den wird die erwähnte Fehlerhaftigkeit unserer Zeitrechnung nichts Beunruhigendes haben. Auch meine ich nicht, dafs die Vorschläge von Neumann, Streintz und Lange geeignet sind, die Zeitmessung zu verbessern; im Grunde setzen sie der gangbaren Zeitvorstellung nur begriffliche Schrauben an. Sehr anregend sind E. Machs[1]) bezügliche Ausführungen, der erkennen läfst, dafs jede Zeitmessung eine Raummessung — nämlich des Drehungswinkels am Erdkörper — sei. Wenn denn nun aber schon das höchste Mafs von Genauigkeit in den Bestimmungen des Beharrungsgesetzes erreicht werden soll. so ist unerfindlich, warum die Vorstellung der gleichen Wegabschnitte unangefochten bleibt. Die Gleichheit zweier Strecken ist ebenso schwierig zu begreifen als die Gleichheit zweier Zeiten; und wer es je bei seinen Messungen erfahren hat, in wie beinahe launischer Art durch Änderungen im Wärme- und Druckzustande selbst die Metalle beeinflufst werden, der kann sich der Befürchtung nicht verschliefsen, dafs nach tausend Jahren auch das Pariser Platinmafs um ein sechsundachtzigtausendstel Millimeter sich verändert haben wird. Durch welche erfahrungsmäfsigen Annäherungen man zu einem Zeit- und Raummafs gelangen mag, beschreibt Leonhard Weber[2]). Nach alledem gilt uns die Gleichförmigkeit in der Bewegung als ein ebenso annehmbarer Begriff wie ihre Geradlinigkeit, so dafs wir von den Neumannschen Einwänden nur den vorhin anerkannten und umgeformten aufrecht erhalten werden.

12. Die dritte Eigenschaft eines in seiner Bewegung beharrenden Massenteilchens, seine *Unabhängigkeit von anderen Massen*, ist von den erwähnten Forschern nicht untersucht worden. Sie benutzen dieselbe bei ihren Herleitungen als etwas Selbstverständliches. In uns hat gerade sie die gröfseren Zweifel erregt. Unabhängigkeit ist nach meinem Dafürhalten ein völlig inhaltloser Ausdruck, wenn nicht gesagt wird, welche Abhängigkeit dadurch verneint werden soll. Im Grunde sind doch alle Dinge und Vorgänge in der Welt abhängig oder unabhängig von einander, je nach der Beziehung, die man ins Auge fafst. Aber die Forderung, irgend etwas schlechterdings unabhängig von allem anderen zu denken, ist überhaupt nicht zu erfüllen; denn alles Denken ist ein Beziehen, und wer also dieses verneint, verzichtet damit auch auf jenes und folglich auf die Wahrheit. Es fragt sich danach, welche Art der Unabhängigkeit man meint, und da zeigt sich, dafs der Ausdruck insgeheim eine doppelte Bedeutung hat. Unabhängig von anderen Massen bedeutet einmal ohne Raumbeziehung, das andere Mal ohne Kraftbeziehung. Letzteres soll zuerst erörtert werden.

α. Die *Verneinung der Kraftbeziehung* ist eine durchaus klare Vorstellung für jeden, wer den Kraftbegriff ebenso annehmbar findet, wie wir die Geradlinigkeit und die Gleichförmigkeit in der Bewegung. Was hätte auch die Uhr oder die Längenteilung vor dem Kraftmesser voraus? Es ist somit — ich gebe das vollkommen zu — lediglich eine Voreingenommenheit für die letzterwähnten Begriffe gegenüber dem Kraftbegriff, wenn wir für diesen eine Aufklärung fordern, die wir bei jenen für unnötig erachteten. Indessen folgen wir in diesem Vorurteil nicht nur dem Zuge der Gegenwart, sondern auch dem Beispiel berühmter Meister der Vergangenheit; die Kraft-

---

[1]) E. Mach, die Geschichte und die Wurzel des Satzes von der Erhaltung der Arbeit. Prag 1872. S. 56. — Ferner: Die Mechanik in ihrer Entwickelung historisch und kritisch dargestellt. 2. Aufl. Leipzig 1889. S. 208 bis 211, S. 219.

[2]) Leonhard Weber, Über das Galilei'sche Princip. Kiel 1891. S. 21 ff.

vorstellung ist schon zu vielen anstöfsig gewesen, als dafs sie unbeleuchtet bleiben dürfte. Billigt man jedoch unsere Forderung nach einer Erklärung des Kraftbegriffs, so trifft man ohne weiteres auf den Kreisschlufs, durch welchen Newtons zweite Fassung des Beharrungssatzes zu einer leeren Selbstverständlichkeit sich formte. Man kann eben nicht umhin, die Kraft durch das Fehlen der Beharrung und die Beharrung durch das Fehlen von Kräften zu erklären. Derselbe Kreisschlufs würde naturgemäfs entstehen, wenn man die Erklärung der Geradlinigkeit und der Gleichförmigkeit in der Bewegung von uns verlangte. Auf unserem — ganz gewifs nur willkürlichen — Standpunkte indessen ist der Kraftbegriff und dadurch auch der Ausdruck ohne Kraftbeziehung unverständlich.

α'. Deshalb treten wir nicht den Formen bei, in denen *Neumann*, *Streintz*, *Lange* und *Weber* das Beharrungsgesetz schliefslich aussprechen, da sie ein Merkmal für das Fehlen der Kraftbeziehung nicht angeben und nicht angeben können. So brauchen wir nur auf *Machs* bezügliche Ausflucht noch zurückzukommen. Seine Fassung des Beharrungssatzes lautet (Erhaltung der Arbeit S. 50 und Mechanik S. 218—222): „Sofern die Körper so weit von einander entfernt sind, dafs sie sich keine merklichen Beschleunigungen erteilen, ändern sich sämtliche Entfernungen einander proportional“. Nun ist freilich klar, dafs die Bedingung der Körper, einander keine merklichen Beschleunigungen zu erteilen, mit der daran geknüpften Folge sich deckt, dafs ihre Bewegungen gleichförmig werden. Machs Überlegenheit gegenüber Neumann und seinen Anhängern wird aber sofort sichtbar, wenn man seine Beharrungsbedingung ausdrückt „sofern die Körper unendlich weit von einander entfernt sind“. Vorausgesetzt wäre hier nur das Newtonsche oder ein anderes Anziehungsgesetz und die ohnehin für die Naturerkenntnis unentbehrliche Vorstellung, dafs Entfernungen unendlich grofs gegenüber den sonst in Betracht kommenden Strecken sind. Indessen auch nur in der Form und also in leerem Schein würde Machs Überlegenheit bestehen. Die Wege nämlich, welche die beharrenden, von allen anderen Massen unendlich fernen Körper beschreiben, würden dem Beobachter sämtlich in dem Ausdruck $\infty - \infty$ gegeben werden, und der Betrag desselben ist nur erhältlich, wenn das Gesetz bekannt ist, nach dem die vorkommenden Gröfsen sich ändern. Dieses aber ist das Beharrungsgesetz, so dafs der gerügte Kreisschlufs sich auch hier wiederholt.

β. Der andere Sinn der Worte „unabhängig von anderen Massen“ sollte lauten „*ohne Raumbeziehung*“. Er bildet das unterscheidende Merkmal der Lehren, über die wir berichten; er führt uns zugleich zur höchsten Frage, die seit den griechischen Forschern aus Elea von den Naturdenkern erwogen wurde, zur Frage nämlich, was der Raum sei und welche Beziehung zwischen ihm und der Bewegung herrsche. Dafs es ohne jede Raumbeziehung Bewegung nicht geben könne, darin sind die Gelehrten einig; ob aber die räumliche Beziehung eine solche zu anderen Massen oder zum Raume selber sei, ob mit anderen Worten ein Massenteilchen sich unbedingt durch andere Massen oder nur mit Bezug auf sie bewegen könne, darüber streitet man.

β'. *Neumann* zieht zur Entscheidung der Frage die Form eines flüssigen Weltkörpers heran, der gegen den Sternhimmel sich dreht. Der Weltkörper platte sich ab oder behalte seine Kugelgestalt, je nachdem er oder der Himmel sich bewege. Die Abplattung müsse auch eintreten, wenn man die Sterne vernichtet denke, wenn also gar keine Bezugsmassen vorhanden sind, gegen welche die Flüssigkeitsteilchen sich bewegen. Ebenso müfsten zwei Massenpunkte, die allein im Weltraum vorhanden wären, nach dem Newtonschen Anziehungsgesetz auf einander stürzen, wenn sie

nicht eine durch Massen unbedingte Drehungsbewegung im Raum beschreiben. „Will man also festhalten an der Galilei-Newtonschen Theorie, so ist man notwendig gezwungen, den Begriff der absoluten Bewegung zu acceptiren“ (S. 29). *Streintz* und — nach meiner Auffassung trotz seiner gegenteiligen Versicherung auch — *Lange* treten dieser Anschauung bei; *Mach* lehnt sie ab, wenngleich er sie für möglich hält; *Weber* nimmt einen vermittelnden Standpunkt ein. Die Frage macht eine umständliche Untersuchung nötig, die einen eigenen Abschnitt fordert.

13. Um jedoch über das *Ergebnis* unserer Zerpflückung des Beharrungssatzes keinen Zweifel zu lassen, wiederholen wir: Die Begriffe geradlinig und gleichförmig sind für uns annehmbar; von den dagegen gerichteten Einwänden erhalten wir nur einen aufrecht; die Bestimmung „unabhängig von anderen Massen“ bedeutet „ohne räumliche Beziehung zu anderen Massen“, sonst löst der Beharrungssatz in eine leere Selbstverständlichkeit sich auf.

B. Die Beziehung der Bestandteile zu einander.

14. *Ist die Bewegung eines Massenteilchens ohne räumliche Beziehung zu anderen Massen denkbar?* Zu dieser Frage hat sich unsere Betrachtung nunmehr zugespitzt. Um sie zu beantworten, wird es nötig, den Einwand, eine Bewegung sei ohne Angabe ihres Bezugsortes unbestimmt, dahin zu verschärfen, dafs eine Bewegung ohne Bezugsort unmöglich ist. Aber dieser Bezugsort könnte der Raum selber sein, und dann läge der Fall einer sogenannten „absoluten Bewegung“ vor.

15. *Neumanns* Gründe für die Annahme einer absoluten Bewegung sind bereits mitgeteilt. Wer sie billigt und aufserdem für jede Bewegung einen Bezugsort fordert, wird mit Neumann folgerichtig zur Annahme eines unbedingt ruhenden Körpers Alpha geführt, der übrigens nichts anderes als den absoluten Raum (S. 20) bedeutet. Auf die Frage, ob derselbe Wirklichkeit besitze wie die Erde, die Sonne und die anderen Himmelskörper, sei zu antworten, „dafs seine Existenz mit demselben Recht, mit derselben Sicherheit behauptet werden kann, wie etwa die Existenz des Licht-Äthers oder die des elektrischen Fluidums“ (S. 21). „Der Körper Alpha mag der Einfachheit willen aufgefafst werden als ein System von drei Linien oder Axen, welche von ein und demselben Punkt ausgehen und auf einander senkrecht stehen“ (S. 29).

16. *Streintz*[1]) stimmt der Auffassung zu, dafs die Drehung eine „absolute“ Bewegung sei, wogegen er das Fortschreiten der Körper nur in Bezug auf andere Massen verständlich findet. Aufser dem flüssigen Weltkörper Neumanns zieht Streintz zur Rechtfertigung seiner Ansicht einen Versuch heran, den Newton angestellt und in seinem Hauptwerk (S. 29f.) beschrieben hat. Versetzt man ein Gefäfs mit Wasser in Umdrehungen, so beginnt der Spiegel sich erst dann zu krümmen, wenn das Wasser an der Bewegung teilnimmt; wird das Gefäfs nun angehalten, so bleibt die Krümmung, bis auch das Wasser ruht. Es mache folglich einen Unterschied, ob das Gefäfs gegen das Wasser oder das Wasser gegen das Gefäfs sich dreht; nur in letzterem Fall trete die Umformung auf, die wir also für das Zeichen einer „absoluten“ Bewegung halten müfsten. Auch Kant und Maxwell seien durch Newtons Beweisführung überzeugt worden. Dasselbe folge aus Foucaults Pendelversuch, besonders klar aber aus der vermeintlichen Thatsache, dafs ein Kreisel steht, wenn er sich dreht und die Unterlage ruht, dafs er hingegen fällt, wenn diese in Bewegung und er in Ruhe ist. Zwecklos nur sei Neumanns Vorschlag, den Körper Alpha

[1]) Streintz, Die physikalischen Grundlagen der Mechanik. Leipzig 1883.



als Achsenkreuz zu wählen; denn da letzterer von niemand wahrgenommen werden könne, so sei er zur Lagenbestimmung nicht verwendbar (S. 39). Der Bezugsort, für welchen das Beharrungsgesetz gelten solle, müsse unveränderliche Achsenrichtungen haben und dürfe nicht unter dem Einflufs fremder Massen stehen; ob die erste Bedingung erfüllt sei, lasse sich durch jeden beliebigen Umdrehungsversuch feststellen; mit der Erkenntnis also, dafs die Drehungen „absolute“ Bewegungen seien, wäre zugleich das Mittel entdeckt, um die Brauchbarkeit eines Bezugsortes zu prüfen. Durch diese Entdeckung sei an die Stelle von Neumanns leerem Gedankending etwas „physikalisch“ Auffindbares und darum sinnlich Wahrnehmbares gesetzt. Woran die zweite Eigenschaft eines brauchbaren Bezugsortes kenntlich sei, dafs er nicht unter dem Einflufs fremder Massen steht, darüber giebt Streintz keine Anweisung.

17. *Ludwig Lange* hat der Frage, ob die Bewegung „absolut“ oder „relativ“ sei, eine besondere Schrift[1]) gewidmet, nachdem er schon vorher das Beharrungsgesetz[2]) behandelt hatte. Lange macht dem Streintzschen Denken den Vorwurf, dafs es sich im Kreise bewege. Die Richtungsruhe der Kreiselachse sei ein mechanischer Lehrsatz, der lediglich aus dem Beharrungssatze folge. Daher dürfe die Fassung des letzteren auf die Kreiselerscheinungen nicht begründet werden. Die Annahme einer „absoluten“ Bewegung und eines „absoluten“ Raumes werde durch zweckmäfsige Festsetzungen entbehrlich. Man denke von demselben Orte aus drei Punkte nach verschiedenen Richtungen geschleudert und sofort einen jeden von ihnen „sich selbst überlassen“. Dann giebt es unendlich viele Achsenkreuze („Inertialsysteme“), gegen welche die Punkte sich geradlinig bewegen. Jeder sei als Bezugsort für den Beharrungssatz zu brauchen. Dieser sage aus, dafs auch jeder vierte „sich selbst überlassene Punkt“ gegen jedes derartige Achsenkreuz eine Gerade beschreibe. Eine ähnliche Bestimmung führt zu einem Zeitmafs und der sich anschliefsenden Aussage über die Gleichförmigkeit in der Bewegung „sich selbst überlassener Punkte“. Auf Grund obiger Festsetzungen gelangt nun Lange zur Unterscheidung „inertiell ruhender“ und „inertiell sich drehender“ Punkte. Jene legen in einem „Inertialsystem“ gerade, diese krumme Wege zurück. Während es gleich richtig sei zu sagen, der Tanzende drehe sich gegen die Welt oder die Welt gegen den Tanzenden, so dürfe „Inertialdrehung“ nur diesem beigelegt werden. Durch die Vereinbarung des „Inertialsystems“ also seien die Annahmen einer „absoluten“ Bewegung und eines „absoluten“ Raumes weder verneint noch beglaubigt, sondern „ersetzt“.

18. Viel weniger zuversichtlich in seinen Behauptungen als die bisher Genannten ist *E. Mach*, der die vorliegenden Fragen in den beiden schon erwähnten Schriften beleuchtet. Zunächst wendet sich Mach gegen die Aufstellungen Neumanns, mit dem er übrigens gleichzeitig zu den gleichen Zweifeln geführt wurde, und zwar ohne von ihm beeinflufst zu sein. Eine „absolute“ Drehung im Sinne Newtons sei von einer „relativen“ gegen die Fixsterne nicht zu unterscheiden und daher mit ihr gleichbedeutend (Mechanik S. 482). Wenn Neumann von einer Abplattung des sich drehenden Weltkörpers auch nach Vernichtung der Fixsterne spricht, so überschreitet er die Befugnisse des Naturforschers, dessen Aussagen innerhalb der Grenzen der Erfahrung liegen

[1]) Ludwig Lange, Die geschichtliche Entwickelung des Bewegungsbegriffs. Leipzig 1886.

[2]) Lange, Über die wissenschaftliche Fassung des Galileischen Beharrungsgesetzes. — Ferner: Nochmals über das Beharrungsgesetz. — Beides in den Philosophischen Studien von Wundt. Leipzig 1885.



müssen. Diesen Standpunkt vertritt Mach ausführlich gegenüber Newtons Versuch mit dem sich drehenden Wassergefäfs (Mechanik S. 216 f.). Der Versuch lehre nur, dafs die „relative" Drehung des Wassers gegen die Gefäfswand keine merklichen Fliehbeschleunigungen hervorrufe. Ob solche aber nicht auftreten würden, wenn die Gefäfswand mehrere Meilen dick wäre, das könne niemand wissen. Der gleiche Einwand treffe die übliche Deutung des Foucaultschen Pendelversuches und ähnlicher Erscheinungen. Thatsächlich seien die Fixsterne bei Anstellung des Foucaultschen Versuches stets vorhanden; wer aber behaupten wollte, dafs letzterer auch ohne dieselben gelänge, der würde sich einer Unehrlichkeit schuldig machen. Damit bestreitet Mach zugleich, was Streintz zur Voraussetzung seiner Vorschläge macht, nämlich dafs die Kreiselerscheinungen an sich und somit unabhängig von den Fixsternen ein allgemein giltiges Achsenkreuz gewinnen lassen. Zu dem durch die Raummarken der Fixsterne bedingten optischen Verfahren, die „relative" Drehung eines Kreisels gegen jene zu ermitteln, geselle sich nur noch ein mechanisches, von dem indessen niemand wissen kann, ob es nach Vernichtung der Sterne noch giltig sei. Langes Fassung des Beharrungssatzes sei zwar möglich, aber doch aufzugeben wegen der Unzulässigkeit, vereinzelte Punkte ohne Berücksichtigung der übrigen Welt in Betracht zu ziehen. Als unumstöfsliche Grundüberzeugung steht für Mach fest, dafs alle Bewegung „relativ" sei, und dafs die sogenannte „absolute" lediglich die Beziehung auf das Weltganze einschliefse. Sein dieser Überzeugung gemäfser Ausdruck des Beharrungssatzes ist schon angeführt und auch beurteilt worden.

19. Neumann und Streintz lehren die „absolute" Umdrehungsbewegung, Mach die „relative"; Lange glaubt beide Annahmen durch seinen Begriff der „Inertialdrehung" unnötig gemacht zu haben; *Leonhard Weber* (a. a. O.) begiebt sich nacheinander auf beide Standpunkte und will zeigen, dafs ihre Rechnungsergebnisse übereinstimmen. Indessen ist unverkennbar, dafs Weber der Grundüberzeugung Machs zuneigt; sei doch die durch den Neumannschen oder Streintzschen Bezugskörper zu bestimmende „absolute" Bewegung auch nichts anderes als eine „relative" (S. 21). Gegen die durch das Ansehen von Newton, Kant und Maxwell[1]) gestützte Meinung, dafs Umdrehungen „absolut" gegen den Raum geschähen, erhebt Weber dieselben Bedenken wie Mach, denen gemäfs man mit einer solchen Behauptung die Grenzen der Erfahrung und somit die Naturforscherbefugnisse überschreite. Dem Streintzschen Achsenkreuz macht Weber zum Vorwurf, dafs die zu seiner Bestimmung dienenden Körper die Eigenschaft haben müfsten, „keiner fremden Einwirkung unterworfen zu sein", wofür es doch an einem Merkmal fehle. Gesteht man indessen die Erkennbarkeit der „directionellen Ruhe" zu, so lasse sich der Beharrungssatz befriedigend so aussprechen (S. 33 f.): „Solange auf einen materiellen Punkt keine Kraft ausgeübt wird, bewegt derselbe sich derart, dafs mit Bezug auf ein directionell ruhendes, aber mit dem Punkte verbundenes Coordinatensystem der Massenmittelpunkt der Welt eine geradlinige und gleichförmige Bewegung besitzt." Durch Umkehrung dieses Lehrsatzes ergäbe sich folgende Erklärung des Kraftbegriffs (S. 35): „Bewegt sich ein materieller Punkt derart, dafs mit Bezug auf ein mit ihm verbundenes, aber directionell ruhendes Coordinatensystem der Massenmittelpunkt der Welt eine geradlinige und gleichförmige Bewegung besitzt, so wirken keine Kräfte auf den Punkt ein." Wer jedoch die Erkennbarkeit der „directionellen Ruhe" leugnet, der solle durch die nachfolgenden

---

[1]) J. Clerk Maxwell, Substanz und Bewegung. Deutsch von v. Fleischl. 2. Abdruck. Braunschweig 1881. — Artikel CIV—CVI.

Festsetzungen befriedigt werden (S. 36). „Erklärung: Unter universell-geradlinig-gleichförmiger Bewegung eines Punktes sei diejenige verstanden, bei welcher die Bewegung des Massenmittelpunktes der Welt rücksichtlich eines mit dem Punkte verbundenen Coordinatensystems eine geradlinig-gleichförmige ist, falls die Richtungen des Systems jederzeit so gelegt werden, dafs die hierauf bezogene lebendige Kraft des Weltalls ein Minimum wird.“ „Satz: Wenn auf einen materiellen Punkt keine Kräfte einwirken, besitzt er eine universell-geradlinig-gleichförmige Bewegung. Und umgekehrt.“ Damit sei den Mängeln in der Fassung des „Galileischen“ Satzes abgeholfen und der Begriff des „absoluten“ Raumes aus der Welt geschafft. Anhangsweise rechnet Weber heraus, dafs die auf sein Achsenkreuz bezogenen Bewegungsgleichungen mit denen des „absoluten“ Raumes übereinstimmen. Weber begiebt sich auf einen vermittelnden Standpunkt und nimmt dadurch alles Licht, aber auch allen Schatten seiner Vorgänger mit in seine Aufstellungen hinein.

20. Worin jenes Licht und jener Schatten nach *meiner Anschauung* besteht, ist nun zu zeigen. Es ist schon mehrfach zugestanden worden, dafs Neumanns Forderung nach einem Achsenkreuz, ohne welches Bewegungen überhaupt nicht beschrieben werden können, ganz unabweisbar ist. Gleichwohl schliefst aus diesem Zugeständnis Weber mit Unrecht, dafs auch die sogenannte absolute Bewegung nur eine relative, nämlich auf das Achsenkreuz bezogene, sei. Denn ist die Bewegung lediglich eine Beziehung zwischen dem Massenteilchen und seinem Achsenkreuz, so mufs die Bewegung wie jede Beziehung umkehrbar sein, so darf es mit anderen Worten keinen Unterschied machen, ob die Lagenänderung des Massenteilchens gegen das Achsenkreuz oder die Verschiebung des Achsenkreuzes gegen das Massenteilchen beschrieben wird. Und diese Umkehrbarkeit gerade leugnet Newton nebst seinen Anhängern, unter ihnen auch Neumann, für die Drehbewegung. Die Gründe freilich, um deren willen die Umkehrbarkeit der Drehbewegungen geleugnet wird, sind nach Machs und Webers überzeugenden Darlegungen nicht stichhaltig. In der That kann niemand wissen, ob das Foucaultsche Pendel noch seine Abweichung zeigen, ob Neumanns flüssiger Weltkörper sich noch abplatten würde, wenn keine Sterne wären, ob der gegen die Erde ruhende Wasserspiegel in Newtons gedrehtem Gefäfs sich nicht einbiegen würde, wenn man die Gefäfswände von der Masse des Erdkörpers wählte. So sehr ich also auch der von Mach und Weber geübten Selbstbescheidung Beifall zolle, so bedarf doch ihre Meinung noch einer Aufklärung, wonach Neumanns Abplattungsbehauptung die Grenzen der Erfahrung überhaupt und also die Rechte des Naturforschers überschreite. Neumanns Schlufsweise ist diese: Newton hat das Anziehungsgesetz nur für unsere Planetengruppe aufgestellt und mit den Beobachtungen seiner Zeit in durchgängiger Übereinstimmung gefunden. Es fragt sich, ob dasselbe zu einem für alle Massen der Welt giltigen Gesetz sich eignet. Im Bejahungsfalle könnten zwei vereinzelte, freie Massen im Weltraum nur dann ihren Abstand unverändert beibehalten, wenn sie eine Drehbewegung gegen den Raum beschreiben. Im andern Fall verbietet sich naturgemäfs jede Aussage. Ob die Verallgemeinerung des Gesetzes zulässig ist, entscheidet sich nun einfach dadurch, ob die aus dem verallgemeinerten Gesetz gezogenen Schlüsse den Erscheinungen entsprechen oder nicht. Neumanns Schlufsform ist daher genau gleichartig der Leverriers; im Inhalt des Erschlossenen besteht freilich der grofse Unterschied, dafs Leverriers Ergebnis durch die Entdeckung des Neptun bestätigt wurde, wogegen es zu Neumanns Folgerungen an den Beobachtungen fehlt. Sind also auch die letzteren nach ihrem Inhalt als richtig nicht erwiesen, so bleibt doch immerhin die Denkverbindung zwingend, durch welche Neumann das verallgemeinerte Newtonsche Gesetz an den Begriff der „absoluten“

Bewegung knüpft. Diese Denkverbindung aufzustellen, war sicher *Neumanns Recht*; ebenso *unrecht* freilich hatte er darin, dafs er von seinen Folgerungen die Thatsächlichkeit behauptete.

21. Aber nicht allein zulässig, sondern auch wertvoll ist Neumanns Schlufs; denn schon an der Denkbarkeit seines Ergebnisses kann bemessen werden, ob das Newtonsche Gesetz die Neumannsche Verallgemeinerung verträgt. Und da teilen wir nun mit Mach die Überzeugung, dafs die Lehre von einer „absoluten" Bewegung unverständlich, dafs hingegen *alle Bewegung nur eine Beziehung* und ihre Beschreibung also umkehrbar ist. Maxwell (Artikel XLI) jedoch ist anderer Meinung, da nach ihm die Verneinung von Newtons Bewegungslehre, die mit der Neumannschen sich deckt, „in Widerspruch steht mit der einzigen vernünftigen (consistent) Lehre von Raum und Zeit, welche der menschliche Geist jemals auszudenken im Stande war". Aber wie fast jeder Zwist wird auch dieser wohl nur ein Wortstreit sein.

22. Wir meinen nämlich, dafs die Überzeugung von der Beziehungsnatur aller Bewegung von niemandem bestritten wird. Die scheinbare Meinungsverschiedenheit über die „absolute" und „relative" Bewegung beruht allein auf der Doppelsinnigkeit des Wortes Raum. Wer Bewegungen gegen den Raum geschehen läfst, denkt diesen sich als Stoff; wer sie nur gegen Massen denkbar findet, sieht in dem Raum eine Beziehungsform des Stoffes. Danach fallen beide gegen einander gerichteten Aussagen in die eine zusammen, dafs alle Bewegung eine Umordnung von Massen sei. Dabei ist die den Raum vertretende Masse die sinnlich nicht wahrnehmbare, die man Äther nennt, so dafs man die Standpunkte beider Parteien auch dahin bestimmen kann: Die einen sprechen von Bewegungen, die nur im Denken zu erfassen sind, die anderen von solchen, die zur Sinneswelt gehören. Nach dieser Schlichtung des Wortstreites zeigt auch die „absolute" Bewegung sich als umkehrbar. Nur mufs man den unsinnlichen Stoff mit den dazu erforderlichen Eigenschaften begabt denken. Dieselben müfsten so gewählt sein, dafs es keinen Unterschied macht, ob die sinnlichen Massen gegen die übersinnlichen sich bewegen oder umgekehrt. — Neumanns für mich richtiges Urteil und Machs für mich richtige Lehre ergeben nun zusammen: Wenn das Newtonsche Gesetz uneingeschränkte Geltung haben soll, so giebt es eine absolute Bewegung; nun aber ist diese verständlich nur als Bewegung gegen einen übersinnlichen Stoff; also ist *das Newtonsche Gesetz notwendig kein völlig allgemeingiltiges Weltgesetz oder es fordert die Annahme eines Schwereäthers.*

23. Der Erkenntniswert des Newtonschen Gesetzes erscheint meist unter folgender Beleuchtung. Die ptolemäische und die kopernikanische Weltbeschreibung seien gleich richtig, die letztere nur einfacher und darum vorzuziehen. In der That hat ja Kopernikus einzig das Achsenkreuz verlegt und so eine ähnliche Vereinfachung erzielt, als wenn man die allgemeine Gleichung der Ellipse auf ihre Hauptachsen umformt. In Bezug auf das von Kopernikus gewählte Achsenkreuz gelten die Keplerschen Gesetze und ihre Beschreibungen sind kurz zusammengefafst im Satze Newtons, der nur ein anderer Ausdruck für dieselbe Sache ist. Als Vorschrift für eine einfache Beschreibung der Planetenbewegungen, unter der *Beschränkung* also, mit welcher Newton selbst seine Satzung nur ausgesprochen hat, ist sie unangefochten; erweitert man sie aber zu der Annahme einer allgemeinen Massenanziehung, zu einem Gesetze somit, das für alle Massen des Weltalls Geltung haben soll, so führt sie ins Gebiet des Übersinnlichen.

24. Die Lehre von der Nichtumkehrbarkeit der Drehungsbeschreibungen stützt sich auf Newtons Wasserversuch. Wie schon erwähnt, hat Mach den Fehler in der Deutung des Versuchs

darin entdeckt, dafs Newton die Bewegung des Wassers auf die Gefäfswände statt auf den Erdkörper bezog, welch letzterer doch den ebenen Spiegel des ruhenden Wassers bedingt. Um eine — wie ich hoffte — einwandfreie *Entscheidung* darüber zu gewinnen, ob es einen Unterschied macht, je nachdem die Flüssigkeit gegen ihre Umgebung oder diese gegen jene sich dreht, wurde der Newtonsche Versuch so abgeändert, dafs die Flüssigkeit der Fallbeschleunigung entgegen war. Dies gelang nach dem Vorbilde von Plateaus *Versuchen mit der Ölkugel.* Ein würfelförmiger Kasten mit Spiegelglaswänden war zum Teil mit Weingeistmischungen gefüllt, deren eine ein etwas gröfseres, deren andere ein etwas kleineres Eigengewicht als Olivenöl besafs; bei vorsichtiger Füllung zeigen solche übereinander gelagerten Mischungen bekanntlich eine Trennungsfläche, die sich nur schwer verliert, und deren Undeutlichkeit einen Mafsstab für die gegenseitige Durchdringung beider Mischungen abgiebt. In die Gegend dieser Trennungsfläche wurde das Öl eingeführt, das um eine wagerechte eiserne Scheibe sich ballte und mittels einer hindurchgehenden lotrechten Achse gedreht werden konnte. Soweit stimmte die Anordnung mit der gewöhnlichen überein. Damit aber nach Belieben das Öl oder das umgebende Mittel in Umdrehungen versetzt werden konnte, war das Plateausche Gefäfs auf den Teller einer Schwungmaschine gestellt. Selbstverständlich war Sorge getragen, dafs die Achse der Schwungmaschine und die Plateausche möglichst in eine Gerade fielen, schon um das Glasgefäfs nicht in die Gefahr zu bringen, vom Schwungteller abgeschleudert zu werden. Diese Aufstellung erwies sich indessen als unzureichend, da das umgebende Mittel nur sehr allmählich an der Bewegung des Kastens teilnahm und ebenso langsam sich beruhigte, wie an einigen freischwimmenden Öltropfen zu sehen war; so kam es mehrfach, dafs die Ölkugel in lauter kleine Tropfen zerrifs, wenn sie nämlich plötzlich angehalten wurde und daher ein sehr grofses Geschwindigkeitsgefälle von der Weingeistmischung gegen das Öl hin entstand. Der zeitraubende Aufbau mufste dann wiederholt werden. Deshalb wurde, um die Geschwindigkeit des Mittels schneller regeln zu können, die Plateausche Achse noch von einem Becherglas mit ausgesprengtem Boden umgeben, das auf dem Boden des Glaskastens mit Klebwachs befestigt war, ohne jedoch das Einströmen der Mischung in den so geschaffenen Innenraum zu hindern. Auf diese Weise war aufser den Gefäfswänden noch eine Glaswand mitten in die Flüssigkeit gebracht und die letztere folgte nun hinreichend schnell den Drehungen der Schwungmaschine. Auch wurde die Oberflächenspannung des Öls und also der Zusammenhang der ganzen Masse dadurch vermehrt, dafs nur ein kleiner Tropfen (nach meiner Erinnerung von etwa 3 cm im Durchmesser) zur Verwendung kam. — Nun zeigten sich sehr deutlich die Erscheinungen, die ohne Becherglas nur bei äufserst vorsichtiger Handhabung der Schwungmaschine zu erzielen waren und die freilich meinen Erwartungen durchaus nicht entsprachen. Bei alleiniger Drehung der Ölkugel traten natürlich Abplattung und Ringbildung ein; dagegen machte es keinen merklichen Unterschied, ob Öl und Mischung zusammen sich drehten oder nur die letztere, während die Plateausche Achse festgehalten wurde. In beiden Fällen senkte sich das Öl und bildete unterhalb seiner Scheibe eine Einschnürung, die immer enger wurde; schliefslich trennte sich die Hauptmasse des Öls ganz von der Scheibe und bewegte sich längs der Achse nach dem Boden des Glaskastens, wo sie sich anlegte und haften blieb; gleichzeitig sanken die frei schwebenden, die Hauptmasse umkreisenden Öltröpfchen, wenngleich weniger schnell und weniger tief; auch stiegen diese wieder ein wenig nach dem Anhalten der Schwungmaschine.

25. Zum *Beweismittel* für die Umkehrbarkeit der Drehungsbeschreibungen eignet sich also

unser Versuch ganz und gar *nicht*; doch dürfte er ebenso wenig zu Gunsten der Newtonschen Ansicht entscheiden, da man nicht wissen kann, ob durch die Versuchsanordnung der Einflufs der Aufsenwelt auf die Ölkugel ausgeglichen war. Nur die eine, vielleicht nicht unwichtige Thatsache lehrt der Versuch, dafs bei den Umdrehungen des Mittels zwischen Öl und Gefäfsboden eine Beschleunigung stattfindet, die mit der Gröfse der Öltropfen wächst.

26. Mag es auch recht ermüdend sein, so müssen wir doch auf einige Gründe für und wider die absolute Bewegung noch zurückkommen. Lotze[1]) meint, dafs durch Gleichungen das Wesen einer Bewegung nicht erschöpft werde. Vielmehr müsse man bei einem Körper, je nachdem er ruht oder sich bewegt, die inneren Zustände als verschieden annehmen. Wo es sich lediglich um Beschreibungen handelt, da ergebe sich freilich stets dasselbe, ob man nun von zwei vereinzelten Körpern im Raume, die ihren gegenseitigen Abstand ändern, den einen oder den andern oder schliefslich beide als bewegt setzt. Für die Erkenntnis des wahren Bewegungsvorganges indessen kommen die inneren Zustände in Betracht, und mit Rücksicht auf diese sei es sehr wohl denkbar, dafs selbst in einem unbedingt leeren Raum sowohl eine fortschreitende Bewegung als eine Drehung nach bestimmter Richtung wirklich stattfinde, wenngleich sie wegen der Unmöglichkeit, das Innere zu ergründen, unerkennbar sein müfsten. Wichtig ist hier für uns nur, dafs die fortschreitende und die drehende Bewegung in gleicher Weise als absolut behandelt werden, sowie die Herbeiziehung des inneren Zustandes im Bewegten. In der That gründen auch Newton und seine Anhänger die Lehre von der absoluten Bewegung auf die Verschiedenheit von inneren Zuständen; die Einbiegung des Wasserspiegels, die Abplattung des flüssigen Weltkörpers, der beharrende Abstand bei einem Doppelstern, die Umlagerungen des Foucaultschen Pendels, alle jene Erscheinungen kennzeichnen die innere Gestaltung einer Massengruppe. Aber solche inneren Gestaltungen kann nur eine Gruppe von Massenteilchen haben, nicht ein einzelnes, und diesen Unterschied vergifst man, wenn man die fortschreitende Bewegung für relativ, die drehende für absolut erklärt; denn Seelenzustände, die Lotze wohl im Auge hat, kommen für die Mechanik nicht in Frage. Weil also auch beim Fortschreiten eine Massengruppe ihre Gestalt wechselt, sobald die Beschleunigungen der Teilchen gegen einander sich ändern, so besteht für den Mechaniker *kein grundlegender Gegensatz im Wesen der Drehung und des Fortschreitens*, wie übrigens auch Mach und Lange zeigen. Danach sind beide Bewegungsarten entweder zugleich absolut oder zugleich relativ. Zu demselben Schlufs gelangt Leibniz, indem er darauf hinweist, dafs ja sonst die Kreisbewegung nicht auf die geradlinige zurückgeführt werden könnte. — Was nun Lotzes Verteidigung der absoluten Bewegung anbetrifft, so fällt und steht sie mit der Meinung, ob das Ununterscheidbare für uns als gleich zu gelten habe oder nicht. Da wir im Ansich der Dinge Unterschiede nicht zugeben, die uns ewig unerkennbar bleiben müfsten, so ist uns das aus dem inneren Zustande eines Massenteilchens hergeleitete Merkmal für seine absolute Ruhe oder Bewegung unverständlich.

27. Kehren wir nun zur Beurteilung der Vorschläge zurück, welche den Beharrungssatz verbessern sollten. Da wir unser Glaubensbekenntnis, dafs auch die Drehbewegung nur eine Beziehung sei, durch einen entscheidenden Versuch nicht haben stützen können, so dürfen wir trotz unserer ablehnenden Vernünfteleien die Andersgläubigen nicht tadeln. Vielmehr müssen

---

[1]) Lotze, Grundzüge der Naturphilosophie. Leipzig 1882. § 6 und § 7.

wir Neumanns Ansicht gelten lassen, dafs gegen den — in seinem Begriff nicht näher bestimmten — Raum ein Körper sich bewegen könne. Dann bleibt jedoch noch immer der von Streintz erhobene Einwand, dafs ohne sinnlich wahrnehmbare Massen alle Lagenbestimmungen im Raume sich verbieten. Dadurch gab Streintz den Anlafs zu all den Achsenkreuzen, die wir beschrieben haben. Wie wenig aber mit ihnen allen den Schwierigkeiten im Beharrungssatze abgeholfen ist, lehrt diese kurze Überlegung. In allen mitgeteilten Vorschlägen müssen die beharrenden Körper die Eigenschaft besitzen, dafs sie „nicht unter dem Einflufs fremder Massen stehen“ oder „sich selber überlassen sind“ oder „keinen Kräften unterliegen“. Nach unserer Zergliederung der im Beharrungssatz vorhandenen Gedanken können jene Beschränkungen nur bedeuten „ohne räumliche Beziehung zu anderen Massen“, weil sonst unser Gesetz zu einer leeren Selbstverständlichkeit entartet. Und somit findet sich: Jede geradlinige Bewegung, sofern sie in unser Wahrnehmungsgebiet fallen soll, ist eine Beziehung des Bewegten zu anderen Massen; die Beharrungsbewegung aber schliefst solche Beziehung aus; also *wird durch die Bedingung des Beharrungssatzes das verneint, was seiner Aussage erst einen Sinn verschaffen könnte.*

28. Noch eine *Bemerkung über Webers Achsenkreuz.* Die Richtungen desselben sind so bestimmt, dafs die lebendige Kraft des Weltalls ihren kleinsten Wert erhält. Die hierauf bezogenen Bewegungsgleichungen sollen mit denen des „absoluten“ Raumes übereinstimmen. Die Rechnung, die diese Übereinstimmung beweisen soll, scheint mir auf einem Kreisschlufs zu beruhen. Von Geschwindigkeiten und also von lebendiger Kraft vieler getrennter Massen kann überhaupt erst die Rede sein, wenn man feste Richtungen im Weltraum annimmt. Dessen gedenkt Weber nicht, wenn er voraussetzt, dafs die Lagen und Geschwindigkeiten der Weltmassen gegeneinander gleichzeitig wie im Blitzbild aufgefafst werden könnten. Diese Voraussetzung wäre, streng genommen, eine Undenkbarkeit; stillschweigend ist sie ein Ersatz für die unveränderlichen Richtungsmarken des Sternhimmels. Indessen „sobald wir von der Lagenveränderung der Fixsterne gegen einander nicht mehr absehen können, hat das Legen eines Coordinatensystems ein Ende erreicht“ (Mach, Erhaltung der Arbeit S. 49). Dafs nun bei jener stillschweigenden Voraussetzung das Achsenkreuz, für welches die von Weber in Rechnung gestellten Massen ihre kleinste lebendige Kraft erhalten, mit dem der Fixsterne übereinstimmt, ist doch wohl selbstverständlich; dazu brauchte die lebendige Kraft sogar nur als unveränderlich gesetzt zu werden, was mathematisch ja auf dasselbe hinauskommt.

III. Die Irrtumsquelle des Beharrungssatzes.

29. Der Beharrungssatz, sofern er wahrnehmbare Bewegungen beschreiben soll, birgt in sich einen Widerspruch und ist darum als undenkbar abzulehnen. Wir fragen nach der *Irrtumsquelle.* Newton bemerkt mit Recht, dafs alle Naturerkenntnis aus der Erfahrung stammt; auch ist schon oben darauf hingewiesen, dafs jedes Naturgesetz nur eine verallgemeinerte Erfahrung ausspricht. Doch ist bei solchen Verallgemeinerungen zu beachten, was wir über den Gegensatz zwischen mathematischen Gesetzen und solchen des Naturgeschehens sagten. Der Mathematiker schreibt die Bedingungen vor, unter denen seine Gesetze gelten sollen; der Naturforscher schliefst diejenigen Einwirkungen des Weltalls aus, die seine Versuche und also seine Gesetze stören könnten. Aber ohne Bedingungen giebt es keine mathematischen Gesetze, sondern nur Verein-

barungen oder Selbstverständlichkeiten; ebenso verbieten sich Naturgesetze, die aller Bedingungen entkleidet sind. Jedes Gesetz drückt ja doch nur den thatsächlichen Zusammenhang zwischen zwei Gebilden aus, in der Mathematik zwischen Denkgebilden, die man als Grund und Folge einander gegenüberstellt, in den Erfahrungswissenschaften zwischen Zeitgebilden, die man als Ursache und Wirkung zu bezeichnen pflegt. Wo indessen alle Gründe und alle Ursachen ausgeschlossen sind, da fehlen auch alle Folgen und alle Wirkungen und somit die Zusammenhänge, welche das Wesen der Gesetze sind. Die Bedingung des Beharrungssatzes ist zwar der Form nach verneinend, wie ein Naturgesetz dies fordert; aber der Inhalt dieser Verneinung gebietet von sämtlichen Umständen abzusehen, die allenfalls bewegungbestimmend hätten sein können, und es versteht sich von selbst, dafs dann alle Bewegung und somit alle Beharrung aufhört. Newtons Irrtum bestand also darin, dafs er nicht nur einige einschränkende Bedingungen den Beobachtungen benahm, sondern dafs er seine Verallgemeinerungen über alle zulässigen Grenzen ausdehnte und so *auf jede Art von Bedingung überhaupt verzichtete.* Das ist gedanklich die Quelle des Beharrungssatzes.

30. Es ist wohl hinreichend betont worden, dafs unsere Einwendungen gegen den Beharrungssatz auf einem Vorurteil beruhen und also nicht zwingend für einen Gegner sind, der unser *Mifstrauen gegen den Kraftbegriff* nicht teilt. Auf diesem gegnerischen Standpunkt mag Newton anfänglich sich befunden haben. Mit dem Augenblicke aber, wo er den Kraftbegriff bezweifelte und zu erklären unternahm, verlor er seine feste Stellung und konnte dem Beharrungssatze keinen selbständigen Inhalt mehr verschaffen. So kommt auch Weber zu dem Schlufs, dafs der Beharrungssatz nichts anderes als die Krafterklärung sei.

31. Die Quelle des gerügten Irrtums wird recht deutlich, wenn man den *Denkvorgang* ins Auge fafst, durch welchen alle *Verallgemeinerungen* von Beobachtungen erfolgen. Sind bereits Beziehungen im Weltgeschehen, sogenannte Naturgesetze, aufgefunden und handelt es sich darum, eine neue Erscheinungsgruppe durch eine Regel zu begreifen, so fragt es sich, ob jene Gesetze die neue Regel stören oder nicht. Weifs man z. B. von einer Reihe von Umständen, dafs sie allein einem Körper eine bestimmte Bewegung, $x = f(t)$, in einer Richtung vorschreiben, und von einer andern, dafs durch sie allein für den Körper eine anders gerichtete Bewegung, $y = f_1(t)$, bedingt ist, so läfst sich aus dieser Kenntnis kein Schlufs auf den Fall ziehen, wo beide bewegungbestimmenden Umstände gleichzeitig eintreten. Lediglich versucht kann die Annahme werden, dafs beide Gesetze einander nicht beeinflussen. Nur auf Grund dieser versuchsweisen Annahme, die sich häufig bestätigt, im andern Falle aber Hilfsannahmen als Lückenbüfser nötig macht, kann die Frage aufgeworfen werden, wie ein im unendlich mannigfaltigen Weltzusammenhange befindlicher Körper sich bewegen müfste, wenn diese oder jene Umstände oder auch, wenn diese oder jene gesetzlichen Beziehungen nicht vorhanden wären. Ist die Antwort auf solche Frage also auch unsicher, so ist letztere doch immerhin vernünftig, und gelingt es dann, die Umstände von einem wissenschaftlichen Versuche auszuschliefsen, von denen man absehen wollte, so entscheidet die Übereinstimmung zwischen den Thatsachen und dem Denkergebnis, ob die versuchsweise Annahme eine Wahrheit ausspricht oder nicht. Unvernünftig aber wird die Frage nach der Bewegung eines Körpers, wenn man denselben aller gesetzlichen Beziehungen entkleidet, wenn man mit anderen Worten seine Bewegung-an-sich ermitteln will. Einzig auf Grund alten Herkommens pflegt man ihm eine geradlinig-gleichförmige Bewegung gegen sein Achsenkreuz beizulegen, wenn nichts über ihn bemerkt ist; diese Übereinkunft bildet den Inhalt des Beharrungssatzes.



32. Der geschilderte Vorgang des Verallgemeinerns bestätigt sich im Werdegang unseres Gesetzes. Die beiden einflufsreichsten Bücher, welche vor Newtons Hauptwerk (1686) über Mechanik geschrieben sind, stammen von *Huygens* und *Galilei*. Jener spricht in seiner Abhandlung über die Pendeluhr (1673) den Beharrungssatz als folgende Vermutung (Hypothesis I) aus: „Wenn die Schwere nicht wäre, noch die Luft der Bewegung der Körper widerstände, würde ein jeder derselben die einmal angenommene Bewegung mit gleichbleibender Geschwindigkeit in gerader Linie fortsetzen". Diese Fassung ist erheblich enger als die Newtonsche. Augenscheinlich soll sie nur für irdische Körper gelten, so dafs die Erde den Bezugsort bildet. Auch sieht Huygens beim Beharren nicht von allen Kräften ab, sondern allein von der Schwere und dem Widerstand der Luft. Noch enger gestaltet sich der Satz bei Galilei. In knapper Form ist freilich das Gesetz von ihm nicht ausgesprochen; seine vielfachen bezüglichen Betrachtungen lassen sogar mehrere Deutungen zu. Besonders seit Wohlwills[1]) eingehenden Untersuchungen pflegt man anzunehmen, dafs Galileis Ansichten gewechselt haben. Indessen meinen einige, dafs schliefslich der Beharrungssatz in voller Klarheit und Allgemeinheit in Galileis Kopf bestanden habe und allen seinen Forschungen „stillschweigend zu Grunde liegt" (E. Dühring, Gesch. d. Mech. Nr. 21), wenn auch der Genueser Baliani erst den allgemeinsten Ausdruck für die Galileischen Gedanken gefunden habe (Wohlwill; 1884. S. 134). So kommt es, dafs man gewöhnlich den Beharrungssatz als Galileisches Gesetz bezeichnet (Streintz, Weber). Nach dem Eindruck, den ich von den „Unterredungen"[2]) (1638) empfangen habe, vermag ich diese Ansicht nicht zu teilen. Ich gebe Wohlwill zu, dafs Galilei nicht dahin gelangt ist, den Beharrungssatz im Sinne Newtons vorzustellen; aber ich sehe darin nicht wie Wohlwill einen Mangel; vielmehr meine ich, dafs Baliani an die schwächste Stelle der „Unterredungen" anknüpft, wo nämlich Galilei sich selber untreu wird und der Einwirkung des Aristoteles erliegt. „Dafs der Geschwindigkeitswert, den der Körper aufweist, in ihm selbst unzerstörbar enthalten ist, solange keine äufseren Ursachen der Beschleunigung oder Verzögerung hinzukommen" (dritter Tag, S. 57), — diese Bemerkung atmet den Geist des Aristoteles, der schon in Newtonscher Allgemeinheit den Beharrungssatz mit folgenden Worten ausspricht: „Ferner könnte wohl niemand angeben, warum etwas, einmal in Bewegung gesetzt, irgendwo stille stehen sollte; denn warum mehr hier als dort? Demnach mufs es entweder ruhen oder ins Unbegrenzte fort räumlich bewegt werden, falls nicht ein Stärkeres es hindert"[3]). Diese Begründung für die Lehre, „dafs die Bewegung in der Horizontalen eine unaufhörliche sei", ist den sonstigen Gedankengängen Galileis durchaus zuwider. Wohlwill (1883, S. 406) führt aus Galileis „Dialogen über die beiden Weltsysteme" die Stelle an: „Die Beschleunigung findet nur statt, wenn der Körper bei seiner Bewegung gewinnt; und nichts anderes ist sein Gewinn, als dafs er sich dem gewünschten Orte nähert, d. h. dem Orte, zu dem ihn die natürliche Neigung zieht". Im Anschlufs an dieselbe behauptet Wohlwill, dafs in den „Unterredungen von 1638" die

[1]) Emil Wohlwill, Die Entdeckung des Beharrungsgesetzes. Zeitschrift für Völkerpsychologie und Sprachwissenschaft. 1883 u. 84.

[2]) Galileo Galilei, Unterredungen und mathematische Demonstrationen über zwei neue Wissenszweige, die Mechanik und die Fallgesetze betreffend. 1638. Aus dem Italienischen und Lateinischen übersetzt und herausgegeben von Arthur von Oettingen. Leipzig 1890—91.

[3]) Acht Bücher Physik IV, 8. — Vgl. ferner die Worte des Plutarch: „Jeden Körper trägt seine natürliche Bewegung, so lange er nicht durch eine andere Kraft aus seiner Richtung gebracht wird." — Auf beide Stellen bin ich durch Hellers Gesch. d. Phys., I, S. 53 u. S. 149, aufmerksam geworden.

Zurückführung der Geschwindigkeitszunahme auf die Annäherung an den Erdmittelpunkt ziemlich geringschätzig zurückgewiesen werde. Ich habe dergleichen Zurückweisungen nicht gefunden; ja im Gegenteil, sämtliche Stellen der „Unterredungen" (mit Ausnahme der schon angeführten auf S. 57f.), wo das Beharren längs der „Horizontalen" begründet wird, nehmen auf den unveränderten Abstand von der Erdmitte Bezug. So heifst es auf S. 28 des dritten Tages: „Da es unmöglich ist, dafs ein Körper sich von selbst nach oben bewegt und sich vom allgemeinen Schwerpunkt entfernt, nach welchem alle schweren Körper hinstreben, so ist es auch unmöglich, dafs er von selbst sich bewege, wenn bei solcher Bewegung sein eigener Schwerpunkt sich nicht dem allgemeinen Schwerpunkte nähert: daher auf der Horizontalen, die hier eine Fläche bedeutet, die überall gleich weit vom allgemeinen Schwerpunkt absteht und deshalb thatsächlich frei von jeglicher Neigung ist, der Körper keinen Impuls erfährt". Ferner auf S. 29 des dritten Tages: „Bei der horizontalen Bewegung findet gar kein (Geschwindigkeits-) Verlust statt, auch ändert sich nicht die Entfernung vom gemeinsamen Schwerpunkt aller Körper, da diese im Horizonte unverändert bleibt"[1]). Dafs Galilei zur späteren Beharrungslehre leicht verführen konnte, ist unzweifelhaft; dazu hätten schon die folgenden Worte (vierter Tag, S. 80f.) genügt: „Wenn ein Körper ohne allen Widerstand sich horizontal bewegt, so ist aus allem Vorhergehenden, ausführlich Erörterten bekannt, dafs diese Bewegung eine gleichförmige sei und unaufhörlich fortbestehe auf einer unendlichen Ebene: ist letztere hingegen begrenzt und ist der Körper schwer, so wird derselbe, am Ende der Horizontalen angelangt, sich weiter bewegen, und zu seiner gleichförmigen unzerstörbaren Bewegung gesellt sich die durch die Schwere erzeugte, so dafs eine zusammengesetzte Bewegung entsteht, die ich Wurfbewegung nenne und die aus der gleichförmig horizontalen und aus der gleichförmig beschleunigten zusammengesetzt ist." Wie wenig aber Galilei mit den Ausdrücken „unaufhörlich", „unendlich", „unzerstörbar" den heutigen Unendlichkeitsbegriff im Sinne hat, erhellt aufs klarste aus nachstehendem Einwand des Simplicio (vierter Tag, S. 86), der in den „Unterredungen" die mittelalterliche Überlieferung verkörpert: „Wir nehmen an, dafs die horizontale Ebene, die weder ab- noch ansteigt, durch eine gerade Linie dargestellt werde, als ob die Teile einer solchen überall gleich weit vom Centrum abstünden, was denn doch nicht der Fall ist, da wir vom Anfangspunkte nach beiden Seiten Teile finden, die immer mehr abweichen und gar ansteigen. Hieraus folgt, dafs auf solcher Ebene die Bewegung nicht gleichförmig sein könne; sie wird vielmehr auf keiner noch so kurzen Strecke sich gleich bleiben, sondern stets sich vermindern." Diesen Einwand billigt Salviati, der Galileis Lehre vorträgt; gleichwohl hält er für die Beschreibung des Wurfes an der Gleichförmigkeit der wagerechten Bewegung fest — und zwar unter Berufung auf Archimedes. Derselbe habe auch in seiner Mechanik „als wahres Prinzip angenommen, dafs der Wagebalken eine gerade Linie sei, deren Punkte alle gleich weit vom gemeinsamen Centrum aller schweren Körper seien, und dafs die Richtungen, nach welchen die Körper fallen, alle einander parallel seien. Solche Licenz wird gebilligt, weil unsere Apparate und die angewandten Strecken sehr klein sind im Vergleich zu der bedeutenden Entfernung vom Mittelpunkt der Erdkugel, so dafs wir einen sehr kleinen Bogenteil eines gröfsten Kreises als gerade und zwei Senkrechte an den Enden dieses Bogens als einander

---

[1]) Beide Stellen finden sich noch nicht in der ersten Ausgabe von 1638 (in Leida), sondern erst in der Bologna-Ausgabe von 1656. Galilei starb 1642.

parallel annehmen können" (vierter Tag, S. 86f.). Die Abfertigung des Simplicio mit Hilfe des Wagebalkens läfst meines Erachtens deutlich erkennen, dafs Galilei die Einschränkung seiner Beharrungslehre auf den als eben annehmbaren „Horizont" für selbstverständlich hielt. Nimmt man noch hinzu, wie beifällig Sagredo, der einsichtsvolle Mitunterredner Salviatis, die Lehre Platos von der kreisförmigen Bewegung anzieht, „die allein geeignet sei, gleichförmig fortzubestehen, da die Umläufe statthaben ohne Entfernung oder Annäherung an ein gewisses Ende oder Ziel" (vierter Tag, S. 95), so wird die Auffassung mindestens zulässig, dafs Galilei die Gleichförmigkeit der wagerechten Bewegung im Sinne des Satzes von der Erhaltung der Kraft, nicht aber der Newtonschen Beharrungslehre verstanden wissen wollte. Unsere zulässige Deutung gewinnt an Wahrscheinlichkeit durch die „Voraussetzung", die Galilei eingestandenermafsen (dritter Tag, S. 18) seinen Betrachtungen zu Grunde legt: „Die Geschwindigkeitswerte, welche ein und derselbe Körper bei verschiedenen Neigungen einer Ebene erlangt, sind einander gleich, wenn die Höhen dieser Ebenen einander gleich sind." Die hiermit bekundete Denkweise macht die Geschwindigkeit eines Körpers nur abhängig von seiner Annäherung an die Erdoberfläche oder, was dasselbe ist, an den Mittelpunkt der Erde, so dafs die Beharrung der Geschwindigkeit allein für die Bewegung auf einer Kugelfläche folgt. Auch noch die letzte die Beharrungslehre streifende Stelle, die ich in den „Unterredungen" aufser den schon angeführten gefunden habe, spricht — meine ich — zu Gunsten unserer Ansicht: „Hier trifft genau das zu, was mit einem schweren Körper geschieht, der auf einer vollkommen glatten und etwas geneigten Ebene ruht, und der von selbst herabfallen wird, immer gröfsere Geschwindigkeiten annehmend; wollte man in entgegengesetzter Richtung ihn emporsteigen lassen, so müfste man ihm einen Impuls erteilen, der schwinden und schliefslich verschwinden würde, wenn aber die Ebene nicht geneigt, sondern horizontal wäre, so würde ein darauf befindlicher Körper alles thun, was uns beliebt, d. h. stellen wir ihn in Ruhe hin, so wird er in Ruhe verharren, geben wir ihm in irgend einer Richtung einen Impuls, so wird er in derselben Richtung sich bewegen und seine Geschwindigkeit bewahren, da er dieselbe weder vermehren noch vermindern könnte, da die Ebene weder eine Senkung noch eine Hebung zuläfst" (sechster Tag, S. 50)[1]). Und ist es — auf dem Boden der Beharrungslehre — nicht sehr verwunderlich, dafs Galilei seine Behandlung des wagerechten Wurfs nicht auf den schiefen übertrug? Ich halte Wohlwills Erklärung dieser Thatsache (1884, S. 112) für durchaus glaublich, wonach Galilei aus der wagerechten Beharrung auf die schiefe nicht habe schliefsen wollen, aber nicht — wie Wohlwill meint — weil er zu einem „allgemein giltigen Beharrungssatze" sich noch nicht durchgerungen hatte, sondern weil nach meiner Ansicht die Beharrungsvorstellung Balianis Galilei nicht ureigentümlich, vielmehr für ihn eine gelegentliche, durch Aristoteles bedingte Verirrung war. Aber wie dem auch sei, ob nun S. 57 f. oder unsere übrigen Bezugsstellen die Meinung des wahren Galilei bringen, thatsächlich knüpft der Newtonsche Beharrungssatz an den Inhalt der ersten Stelle an, wogegen Huygens die Lehre seines Meisters in ihrer doppelten Bedeutung beibehält. Newton läfst so die aristotelische Beharrungslehre auferstehen und zwar in einer Form, wie sie in gleicher Allgemeinheit und Bestimmtheit auch schon bei Descartes (Principia philosophiae, 1644; II 37—39) sich findet. Das ist geschichtlich die Quelle des Beharrungssatzes.

33. In kurzer Übersicht ergiebt sich danach für uns, die wir nicht so sehr einen ge-

---

[1]) Der fünfte und sechste Tag findet sich noch nicht in den Ausgaben von 1638 und 1656.

schichtlichen Thatbestand, als vielmehr verschiedene Erkenntnisstufen aufzeigen wollen, *zwischen den Beharrungslehren von Galilei, Huygens und Newton folgendes Verhältnis.* Galilei lehrte, dafs die irdischen Körper in wagerechter Richtung und auf Strecken, die gegen den Erdhalbmesser vernachlässigt werden dürfen, gleichförmig und geradlinig sich bewegen; von der Rauhigkeit einer Unterlage und einem Luftwiderstand wird dabei abgesehen. Dieser Satz erscheint einerseits als unmittelbare Folge der doppelten Thatsache, dafs die Geschwindigkeit auf geneigten Ebenen wächst, auf ansteigenden abnimmt, andererseits, wo nämlich eine allgemeinere Begründung zugelassen wird, als Sonderfall der Annahme, dafs die Annäherung an den Erdmittelpunkt mit einem Gewinn, die Entfernung von demselben mit einem Verlust an Geschwindigkeit verbunden sei. Huygens lehrt die Beharrung gegen den Erdkörper ganz allgemein, wenn die Schwerkraft und der Luftwiderstand fehlen, und zwar als oberste Voraussetzung seiner Betrachtungen; für Newton ist die auf nichts bezogene Beharrung das erste Grundgesetz, das gilt, wenn keine Kräfte da sind. Das heifst: Galilei ermittelte — hauptsächlich zum Zweck der Wurfbeschreibung — die wagerechte Teilgeschwindigkeit; Huygens bahnte den Kreisschlufs im Beharrungssatze an, indem er von der Schwerkraft absah; Newton steigerte diese Verallgemeinerung bis zur Verneinung aller Kräfte und Beziehungen und endete so bei einer Unverständlichkeit.

IV. Welchen Wert hatte der Beharrungssatz?

34. Die obigen Bemängelungen des Beharrungssatzes sind aus dem Bedürfnis unserer Zeit entstanden, die für den Kraftbegriff eine Erklärung fordert und aufserdem glaubt, dafs es unbedingte Erkenntnisse nicht giebt. Die Beharrungslehre befriedigte die Fragen einer Vergangenheit, die jene Bedürfnisse nicht hatte. *Es fragt sich nun, ob die erwähnte Lehre* allein der Ausdruck einer *vorübergehenden* Gemütsverfassung war, *oder ob* sie Erkenntniskeime birgt, die für die *Gegenwart* Bedeutung haben.

Welche Gründe *Galilei* zu seiner Beharrungsanschauung führten, hat sich eindeutig nicht bestimmen lassen; doch diente sie ihm zu zweierlei. Er umging dadurch einmal die Erklärung der Geschwindigkeit bei einer ungleichförmigen Bewegung, und ferner gelang ihm mit Hilfe der Beharrung die Lösung der Aufgabe vom wagerechten Wurf. Um einen Geschwindigkeitsgrad vorstellig zu machen, giebt Galilei stets die Strecke an, die das Bewegte wagerecht beharrend in der Zeiteinheit durchlaufen würde. So läfst er die Körper zur Bestimmung ihrer Endgeschwindigkeit von der schiefen auf die wagerechte Ebene übergehen, ohne übrigens des Geschwindigkeitsverlustes zu gedenken, der beim Aufstofsen am Fufs der schiefen Ebene entstehen müfste. Diesen Gedankensprung über die Vorgänge der Natur hinaus gestattete sich Galilei, um sich über das Fehlen eines genügenden Geschwindigkeitsbegriffs hinwegzutäuschen; aber Galileis Fehler bleibt ohne störende Folgen, da er in die Rechnungen nicht eingeht. Seit die Lehre vom Unendlichkleinen besteht, ist diese Selbsttäuschung entbehrlich. Daher nützte die erste Galileische Verwendung des Beharrungssatzes nur der Vergangenheit. — Anders steht es mit der zweiten. Dafs beim Wurf die wagerechte Geschwindigkeit beharrt, während die lotrechte Bewegung den Fallgesetzen folgt, diese Annahme ist bis heute unumgänglich. Sie besagt, dafs die wagerechte Geschwindigkeit von der Fallbeschleunigung und letztere von jener beim Wurf unabhängig ist oder, allgemeiner ausgedrückt, dafs bei freien Bewegungen die Beschleunigung eines Körpers von seiner Geschwindigkeit nicht abhängt; dabei

heifst eine Bewegung frei, wenn das Bewegte andere Massen nicht berührt. In dieser Form ist die Beharrungsannahme gleichbedeutend mit dem sogenannten Unabhängigkeitssatze und ein Grundpfeiler in der Lehre von den freien Bewegungen. Dafs auch dieser einmal schwanken und der Unabhängigkeitssatz nur als eine erste Annäherung an die Wahrheit gelten wird, ist nicht undenkbar. In einer Lehre, welche den Einflufs der Massen auf einander als eine Wellenbewegung vorstellt, würden die Beschleunigungen sich wohl nicht als völlig unabhängig von den Geschwindigkeiten erweisen.

35. Bei *Huygens* ist der verallgemeinerte, auf alle Richtungen übertragene Beharrungssatz unfruchtbar geblieben; nur die Begründung Galileis, dafs das wagerechte Beharren mit der unveränderten Entfernung vom Erdmittelpunkt zusammenhänge und also die Geschwindigkeit eines auf beliebigen Bahnen fallenden Körpers allein durch seine Entfernung von der Erdoberfläche bedingt sei, ist von Huygens glänzend ausgebaut worden. Er schuf aus dem Galileischen, in Plato wurzelnden Gedanken den Satz von der Erhaltung der Kraft und löste auf Grund desselben die Aufgabe vom Schwingungsmittelpunkt.

36. Dafs der Beharrungssatz für *Newton* von besonderer Bedeutung war, ist schon gelegentlich berührt. Will man über blofse Andeutungen hinausgehen, so mufs man die Rolle aufklären, welche der Kraftbegriff im Wissenschaftsbetriebe spielt. Die erste Verwendung desselben begegnet bei den griechischen Naturforschern, sehr klar etwa seit Empedokles (geb. um 490 v. Chr.), der durch die Kräfte der Liebe und des Hasses die Mischungen und Trennungen der Stoffe erklärte. Diese Erklärung wird abgelehnt von Demokrit (um 30 Jahre jünger), der alles Geschehen mit einer Naturnotwendigkeit begründet. Derselbe Meinungskampf wie im fünften vorchristlichen Jahrhundert wiederholt sich in der Wissenschaft auf Schritt und Tritt. Die Annahme von Kräften ist die erste Stufe des Begreifens; sie wird abgelöst durch die Erkenntnis des Gesetzes, nach dem die Kräfte wirken. Dem glücklichen Forscher löst sich die Erscheinungswelt in lauter Erscheinungsgruppen auf, in denen er eine Wiederkehr der Vorgänge beobachtet. Die Vermutung, dafs jene Wiederkehr in einem Gesetz sich wird beschreiben lassen, sprach man von jeher mit der Behauptung aus, dafs die beobachteten Vorgänge einer Kraft gehorchten. Weil alle irdischen Körper die Eigenschaft der Schwere gegen die Erde zeigen, so legte man dieser eine Schwerkraft bei; der Glaube an die Erkennbarkeit der Lebenserscheinungen drückte sich im Begriff der Lebenskraft aus; die elektrischen Erscheinungen bei der gegenseitigen Berührung von Metallen wurden aufgefafst als die Wirkungen einer elektromotorischen Kraft; nach Beobachtung der Regelmäfsigkeiten in den chemischen Verbindungen schuf man die chemische Verwandtschaft. Alle jene Kräfte sind lediglich Vermutungen, dafs die zugehörigen Erscheinungen einer noch unerforschten Regel folgen; sie drücken somit die Erkenntnisstufe aus, auf welcher irgend eine Abhängigkeit nach ihrer Art, doch nicht nach ihrem Grad, d. h. auf welcher das Abhängigkeits g e s e t z noch nicht gefunden ist. Die Kräfte bedeuten also für den Forscher eine Frage, die Frage nämlich nach dem Gesetz, das irgend welchen Vorgängen zu Grunde liegt. Überall aber, wo Kräfte für Antworten genommen werden, da sind sie nichts als leere Redensarten; denn erst durch Auffindung des Gesetzes wird für die Kraft das Daseinsrecht bewiesen; nach seiner Entdeckung jedoch ist die Kraftannahme zwar richtig, indessen nicht mehr nötig, wie man auch nicht mehr fragt, wenn man die Antwort weifs. Damit soll nicht gesagt sein, dafs die Entdeckung des Naturgesetzes allein die Gröfse eines Forschers macht; vielmehr ist die Auffindung einer Kraft sogar die gröfsere Leistung; denn sie bekundet jenes feinsinnige Gefühl

für Ordnung in der Weltbeschreibung, welches die Vorbedingung wissenschaftlicher Erkenntnis ist. Eine einsichtsvolle Frage ist — mit anderen Worten — deshalb wertvoller als eine richtige Antwort, weil sie bereits eine Vorahnung der letzteren voraussetzt. Dafs Newton den Gedanken an eine allgemeine Schwerkraft fafste, das war für ihn die grofse Frage, die in seinem Beharrungsgesetz sich ausspricht. Es besagt nichts anderes, als dafs die Massen eine gegenseitige Abhängigkeit besitzen, die als eine Beschleunigung sich darstellen läfst. Letztere zu ermitteln war die im Beharrungsgesetz vorliegende Aufgabe, nach deren Lösung jenes selbst entbehrlich wurde. Die noch für uns geltende Antwort lautete, dafs mehrere Massen sich mit genau angebbaren Beschleunigungen gegen einander bewegen; der Zusatz, dafs ein Massenteilchen gleichförmig fortschreite, hatte Sinn nur für Newton, der — freilich nicht ganz folgerichtig — die Lehre vom stofflich unbedingten Raum vertrat, nicht mehr für uns, die wir über ein Massenteilchen jede Bewegungsaussage undenkbar finden. Danach bleibt von Newtons Beharrungsgesetz für die Gegenwart nur der Erkenntnisrest, dafs die Bewegungen der Massen bequem durch ihre Beschleunigungen sich beschreiben lassen.

37. Demgemäfs ergiebt sich *zwischen Galilei, Huygens und Newton,* wenn wir allein den für uns wertvollen Inhalt ihrer Beharrungslehren ins Auge fassen, *folgendes Verhältnis.* Galilei lehrte, dafs ein Massenteilchen seine Geschwindigkeit behalte, wenn es seinen Abstand vom Erdmittelpunkt nicht ändert; Huygens dehnte diese Erkenntnis auf eine Massengruppe aus und schuf so das Gesetz von der Erhaltung der Kraft; Newton erweiterte sie auf alle Massen der Welt und fafste die Erkenntnis, dafs bei der gegenseitigen Annäherung der Massen ein Geschwindigkeitsgewinn, im entgegengesetzten Fall ein Geschwindigkeitsverlust eintritt, in die gleichwertige Aussage, dafs die Abhängigkeit der Massen von einander jedesmal als eine Beschleunigung ausgedrückt werden kann. Aufserdem war Galileis Kunstgriff, die Betrachtung der Bewegung auf kurze und daher als gerade annehmbare Bögen einzuschränken, seinen Nachfolgern ebenso förderlich wie die Annahme, dafs die Beschleunigung eines Massenteilchens von seiner Geschwindigkeit unabhängig sei.

V. Die Wahrheit des Beharrungssatzes in neuer Form.

38. Wir bemerkten, dafs es ohne Bedingungen keine Gesetze, sondern nur Selbstverständlichkeiten oder Vereinbarungen gebe. Da an Selbstverständlichkeiten nicht gelegen sein kann, so mufs die *Wahrheit des Beharrungsgesetzes* als des obersten und daher bedingungslosen Satzes der Mechanik zu den Vereinbarungen gehören; d. h. es drückt keine Erkenntnis, sondern eine Vorschrift, eine sogenannte Forschungsregel, aus. Diese Einsicht, dafs unbedingte Naturerkenntnisse unmöglich sind, ist das Ergebnis des Kantischen Denkens. Das Unbedingte in den Erkenntnissen sei lediglich eine Zuthat der Vernunft zu den Sinnesempfindungen und habe sonach mit den Dingen an sich gar nichts zu thun; es liefere daher der Wissenschaft auch keinen Inhalt, sondern dem Forscher nur eine Regel, nach der er zum Zweck des Erkennens zu verfahren habe. Wie der Schachspieler seine Thätigkeit erst beginnen kann, nachdem die Spielregeln vereinbart sind, geradeso der wissenschaftliche Künstler. Das ganze Rüstzeug von Vorurteilen, welches dem Kinde im Sprachschatz übermittelt wird, — es bildet die Grundlage seines Schaffens, wenn es erwachsen ist. Aber wie man die Schachregeln so einfach wählt, um bei aller Mannigfaltigkeit die Annehmlichkeit des Spieles zu erhöhen, so trifft man auch die wissenschaftlichen Verein-

